

**FACULDADE DE TECNOLOGIA E CINÊNCIAS SOCIAIS APLICADAS – FATECS**

**CURSO: ENGENHARIA CIVIL**

**RENAN DITTRICH TOSETTO**

**MATRÍCULA: 2131545/9**

**ANÁLISE DE VIABILIDADE DE AMPLIAÇÃO DE UMA  
EDIFICAÇÃO COMERCIAL UTILIZANDO ENSAIOS  
DESTRUTIVOS E NÃO DESTRUTIVOS – ESTUDO DE CASO**

Brasília

2017

**RENAN DITTRICH TOSETTO**

**ANÁLISE DE VIABILIDADE DE AMPLIAÇÃO DE UMA  
EDIFICAÇÃO COMERCIAL UTILIZANDO ENSAIOS  
DESTRUTIVOS E NÃO DESTRUTIVOS – ESTUDO DE CASO**

Trabalho de Curso (TC) apresentado como  
um dos requisitos para a conclusão do  
curso de Engenharia Civil do UniCEUB –  
Centro Universitário de Brasília

Orientador: feno

**Brasília**

**2017**

**RENAN DITTRICH TOSETTO**

**ANÁLISE DE VIABILIDADE DE AMPLIAÇÃO DE UMA  
EDIFICAÇÃO COMERCIAL UTILIZANDO ENSAIOS  
DESTRUTIVOS E NÃO DESTRUTIVOS – ESTUDO DE  
CASO**

Trabalho de Curso (TC)  
apresentado como um dos  
requisitos para a conclusão do  
curso de Engenharia Civil do  
UniCEUB - Centro Universitário  
de Brasília

Orientador: Prof. Jorge A. da  
Cunha Oliveira, D. Sc.

Brasília, 01 de Dezembro de 2017.

**Banca Examinadora**

---

Eng. Civil: Prof. Jorge A. da Cunha Oliveira, D. Sc.  
Orientador

---

Eng. Civil: Prof. Jocinez Nogueira de Lima, M. Sc.  
Examinador Interno

---

Eng. Civil: Carlos Eduardo Diniz Vilanova.  
Examinador Externo

## **Agradecimentos**

Aos meus pais Renato e Marcia pelo apoio, confiança, carinho e amor incondicional.

Ao meu irmão Caio por sempre proporcionar momentos de descontração e alegria.

A toda minha família, avôs, avós, tios, tias, primos e primas que de alguma forma contribuíram para a minha formação.

Aos professores do UniCEUB, que foram a base da minha formação.

Ao meu orientador, professor e amigo Jorge Antônio da Cunha pelo apoio, ensinamentos e confiança tanto nas matérias que foi meu professor quanto na realização deste trabalho de conclusão.

Aos meus amigos João e Rennan pela amizade, saídas, risadas e divertimentos que tivemos ao longo desses 5 anos que morei em Brasília.

Aos meus amigos Alcides, Botura, Guilherme P., Helene, Dominique, Gabriel T., Igor, Daniel, Momesso, Togo, Heclis e Leonardo por todos os anos de amizade, encontros, risadas e jogatinas.

Aos meus amigos de sala com quem dividi momentos de alegria e angústia no decorrer dos 5 anos de curso.

A todos que de forma direta ou indireta contribuíram para a minha formação.

## **RESUMO**

Este trabalho tem como finalidade verificar a viabilidade da construção de mais um pavimento sobre uma estrutura já existente. Os dados da edificação foram levantados através de ensaios destrutivos e não destrutivos, afim de conhecer ao máximo as propriedades estruturais da edificação. Para os ensaios houve o uso de pacometria, esclerometria, ultrassonografia, aplicação de fenolftaleína e extração de corpos de prova, além da execução da sondagem do solo e verificação do tipo de fundação.

Com os dados levantados em campo pode-se concluir que existe a necessidade de reforços estruturais para a viabilidade da ampliação desejada.

Palavras chave: viabilidade, ensaios, edificação

## **ABSTRACT**

The purpose of this work is to verify the feasibility of the construction of one more floor over an existing structure. The data of the building were raised through destructive and non-destructive tests, in order to know as much as possible from the building properties. For the tests there were the use of cover meter, sclerometry, ultrasonography, application of phenolphthalein and extraction of test specimens, besides the execution of the standard penetration test and a verification of the foundation type.

With the data collected in the field It can be concluded that there is a need for structural reinforcement in order to reach the feasibility of the desired enlargement.

Key words: feasibility, tests, edification

## Sumário

1. INTRODUÇÃO .....	12
2. OBJETIVOS .....	14
2.1. OBJETIVO GERAL .....	14
2.2. OBJETIVO ESPECÍFICOS .....	15
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	15
3.1. NORMAS .....	15
3.2. ENSAIOS .....	16
3.2.1. PACOMETRIA .....	17
3.2.2. ESCLEROMETRIA .....	18
3.2.3. ULTRASSONOGRAFIA .....	18
3.2.4. APLICAÇÃO DE FENOFTALEÍNA .....	20
4. METODOLOGIA .....	21
4.1. INSPEÇÃO PRELIMINAR .....	23
4.2. ENSAIOS REALIZADOS .....	32
4.2.1. PACOMETRIA .....	32
4.2.2. ESCLEROMETRIA .....	35
4.2.3. ULTRASSONOGRAFIA .....	39
4.2.4. EXTRAÇÃO E ROMPIMENTO DE TESTEMUNHOS .....	42
4.2.5. AVALIAÇÃO DE PENETRAÇÃO DE CARBONATAÇÃO COM FENOFTALEÍNA .....	48
4.2.6. SONDAGEM .....	50
4.2.7. POÇO DE INSPEÇÃO .....	55
5. ANÁLISE DE RESULTADOS .....	57
5.1. ESCLEROMETRIA .....	57
5.2. ULTRASSONOGRAFIA .....	61

5.3. ROMPIMENTO DOS TESTEMUNHOS EXTRAÍDOS .....	62
5.4. AVALIAÇÃO DE PENETRAÇÃO DE CARBONATAÇÃO.....	63
5.5. SONDAGEM.....	63
6. COMPATIBILIZAÇÃO DE RESULTADOS.....	63
6.1. COMPATIBILIZAÇÃO DE RESULTADOS DO EDIFÍCIO ANTIGO E RESIDÊNCIA PRINCIPAL.....	65
6.2. COMPATIBILIZAÇÃO DE RESULTADOS DO EDIFÍCIO NOVO .....	66
6.3. COMPATIBILIZAÇÃO DE RESULTADOS DAS RESIDÊNCIA DOS FUNCIONÁRIOS.....	67
7. CONCLUSÃO .....	69
7.1 SUGESTÃO PARA PESQUISAS FUTURAS.....	70
8. REFERÊNCIAS.....	71
9. ANEXO.....	72



## ÍNDICIE DE FIGURAS

Figura 1 – Edifício principal (novo e antigo). .....	13
Figura 2 – Residência de funcionários. ....	14
Figura 3 – Esquema do ensaio de ultrassonografia com transmissão direta. ..	20
Figura 4 – Fluxograma utilizado. ....	22
Figura 5 – Infiltração no escritório da residência principal.....	24
Figura 6 – Infiltração no interior da residência de funcionário. ....	24
Figura 7 – infiltração nas tubulações aparentes na área externa. ....	25
Figura 8 – Infiltração na varanda da residência principal. (Fotografia real) .....	25
Figura 9 – Infiltração na varanda da residência principal. (Fotografia termográfica) .....	26
Figura 10 – Trinca/fissura no corredor do escritório. ....	27
Figura 11 – Trinca/fissura no corredor do escritório. ....	27
Figura 12 – Trincas/fissuras em laje da residência de funcionário. ....	28
Figura 13 – Trinca/fissura na garagem.....	28
Figura 14 – Detalhe da trinca/fissura da garagem.....	29
Figura 15 – Pontos de acúmulo de lixiviação na superfície de revestimento cerâmico.....	30
Figura 16 – Eflorescência na superfície de revestimento cerâmico. (Fotografia real) .....	30
Figura 17 – Eflorescência na superfície de revestimento cerâmico. (Fotografia termográfica) .....	31
Figura 18 – Viga com armadura exposta. ....	32
Figura 19 – Realização de ensaio de pacometria em pilar de concreto. ....	34
Figura 20 – Realização de ensaio de pacometria em pilar de concreto. ....	34
Figura 21 – Disco de carborundum. ....	36
Figura 22 – Polimento da área de ensaio.....	36

Figura 23 – Exemplo de área de ensaio.....	37
Figura 24 – Realização de ensaio de esclerometria em Pilar de Concreto Armado.....	38
Figura 25 – Realização de ensaio de esclerometria em Pilar de Concreto Armado.....	39
Figura 26 – Realização de ensaio de ultrassonografia em Pilar de Concreto Armado.....	41
Figura 27 – Realização de ensaio de ultrassonografia em Pilar de Concreto Armado.....	42
Figura 28 – Realização de extração de testemunho do pilar da edificação principal antiga. ....	44
Figura 29 – Realização de extração de testemunho do pilar da residência dos funcionários.....	44
Figura 30 – Realização de extração de testemunho do pilar P07. ....	45
Figura 31 – Local de extração de testemunho reconstituído. ....	46
Figura 32 – Local de extração de testemunho reconstituído. ....	46
Figura 33 – Local de extração de testemunho reconstituído. ....	47
Figura 34 – Testemunho em prensa hidráulica pronto para ser rompido. ....	48
Figura 35 – Aplicação de fenolftaleína em testemunhos.....	49
Figura 36 – Medição da frente de carbonatação em testemunhos de concreto. ....	50
Figura 37 – Croqui com a localização da primeira sondagem realizada (SP01). ....	52
Figura 38 – Croqui com a localização da segunda sondagem realizada (SP02). ....	53
Figura 39 – Sondagem sendo realizada.....	54
Figura 40 – Sondagem sendo realizada.....	54
Figura 41 – Início da escavação.....	55

Figura 42 – Bloco de coroamento encontrado a 90 cm do nível do terreno. ....	56
Figura 43 – Estaca abaixo do bloco de coroamento (início da estaca a 1,40 m do nível do terreno). .....	56
Figura 44 – Poço de inspeção fechado após escavação. ....	57

## ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 – Elementos ensaiados por pacometria. ....	33
Tabela 2 – Pilares ensaiados por esclerometria.....	38
Tabela 3 – Qualidade dos concretos em relação a velocidade de propagação ultrassônica (VPU). .....	40
Tabela 4 – Pilares ensaiados por ultrassonografia.....	41
Tabela 5 – Elementos estruturais de onde foram extraídos testemunhos.....	43
Tabela 6 – Resultados encontrados nos ensaios de esclerometria. ....	59
Tabela 7– Resultados encontrados nos ensaios de esclerometria. ....	60
Tabela 8 – Resultados encontrados nos ensaios de ultrassonografia. ....	61
Tabela 9 – Resultados de resistência dos testemunhos extraídos.....	62
Tabela 10– Compatibilização de resultados do edifício antigo, resid. funcionários e resid. principal. ....	65
Tabela 11– Compatibilização de resultados do edifício novo.....	66
Tabela 12– Compatibilização de resultados das residências de secretários. ..	68

## 1. INTRODUÇÃO

O presente trabalho tem por finalidade realizar uma vistoria predial para assim poder analisar as capacidades estruturais de um edifício afim de se realizar um pavimento extra sobre a atual edificação.

Para a realização desse estudo foram propostas a realização de ensaios destrutivos (extração e rompimento de testemunhos) e ensaios não destrutivos (pacometria, esclerometria e ultrassonografia).

Além dos ensaios propostos acima também foi realizado estudo do solo, composto de sondagem do solo e poço de inspeção, assim, possibilitando determinar sua qualidade, características e tipo de fundações previamente realizadas.

A edificação a ser estudada é um edifício comercial localizada no Setor de Embaixadas Sul em Brasília e o complexo de edificações que fica dentro desse lote será denominado de Complexo "A". E é formado por um edifício principal, residência principal, duas residências de funcionários, duas residências de secretários, além de piscina, três guaritas, área verde frontal e posterior.

Todas as edificações foram executadas com estruturas de concreto armado, sendo que o edifício principal, residência principal e nas residências dos funcionários as lajes e vigas foram executadas com concreto armado pré-moldado. As paredes dos edifícios foram executadas com alvenaria convencional.

Também se descobriu que no ano 2000/20001 foi realizada a construção de um anexo ao edifício principal, este construído em 1972 juntamente com as duas casas dos funcionários. O anexo seguiu o modelo arquitetônico do antigo estilo Pré Moldado, porém todo o concreto foi moldado *in loco*. Como pode ser visto na Figura 1.

Figura 1 – Edifício principal (novo e antigo).



Fonte: Arquivo pessoal

As residências dos funcionários foram executadas por volta dos anos 1980. Durante vistoria, notou-se a existências de lajes em diagonal, seguindo a inclinação da cobertura de telhas cerâmicas. Também foi detectado que durante a construção das edificações foi realizado um aterro devido a inclinação do terreno. Todo o revestimento exterior das casas dos secretários foi executado com revestimento cerâmico imitando tijolos. Como pode ser visto na Figura 2.

Figura 2 – Residência de funcionários.



Fonte: Arquivo pessoal

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. OBJETIVO GERAL**

Este trabalho tem como objetivo, fazer um estudo de viabilidade de construção de um segundo pavimento sobre a edificação presente, fazendo a inspeção predial para levantar dados estruturais, de fundação e de solo que viabilizarão ou não a execução da obra.

## **2.2. OBJETIVO ESPECÍFICOS**

Realizar levantamento de dados estruturais, de fundação e solo via inspeções prediais.

Realizar ensaios destrutivos e não destrutivos para analisar a qualidade e resistência do concreto.

Propor sistema de reforço, caso necessário.

## **3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

Serão apresentados conceitos referentes a normas técnicas e de metodologias utilizadas.

### **3.1. NORMAS**

NBR 7584/2012 – Concreto Endurecido – Avaliação da dureza superficial pelo esclerômetro de reflexão. Estabelece o método para avaliação da dureza superficial do concreto endurecido pelo uso do esclerômetro de reflexão

NBR 8802/2013 – Concreto endurecido – Determinação de velocidade de propagação de onda ultrassônica. Estabelece o método de ensaio não destrutivo para determinar a velocidade de propagação de ondas longitudinais, obtidas por pulsos ultrassônicos, através de um componente de concreto, e tem como principais aplicações:

- a) Verificação da homogeneidade do concreto;
- b) Detecção de eventuais falhas internas de concretagem, profundidade de fissuras e outras imperfeições; e

c) Monitoramento de variações no concreto, ao longo do tempo, decorrentes de agressividade do meio (ataque químico) principalmente pela ação de sulfatos.

NBR 7680/2015 – Concreto – Extração, preparo, ensaio e análise de testemunhos de estruturas de concreto, Parte 1: Resistência à compressão axial. Estabelece os requisitos exigíveis para os processos de extração, preparo, ensaio e análise de testemunhos de estruturas de concreto.

NBR 5739/2007 – Concreto – Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos. Estabelece o método pelo qual devem ser ensaiados à compressão os corpos de prova cilíndricos de concreto.

NBR 6484/2001 – Solo – Sondagens de simples reconhecimento com SPT – Método de ensaio.

As finalidades deste método são:

- a) A determinação dos tipos de solo em suas respectivas profundidades de ocorrência;
- b) A posição do nível d'água; e
- c) Os índices de resistência à penetração (N) a cada metro.

### **3.2. ENSAIOS**

Para identificar, localizar e analisar patologias e levantar dados mais precisos sobre as estruturas estudadas, foram executados inúmeros ensaios, estes sendo divididos em ensaios destrutivos e não destrutivos.

Sobre os primeiros, são ensaios que deixam algum tipo de marca na peça ou corpo de prova ensaiado, onde esses poderão ou não ficarem inutilizados. Para o levantamento de dados para a execução deste presente trabalho foi utilizado o ensaio destrutivo de arrancamento de corpos de prova normatizado pela NBR 7680/2015 – Concreto – Extração, preparo, ensaio e análise de testemunhos de estruturas de concreto, o ensaio trata-se de um arrancamento da parte de concreto de uma estrutura, neste trabalho utilizado em pilares, onde não se pode



extrair armaduras juntamente com o concreto, por esse motivo todos os ensaios de extração de corpos de prova foram realizados após a realização previa do ensaio de pacometria.

Ensaio não destrutivo, segundo Evangelista 2002 “Os ensaios considerados não destrutivos são aqueles que não causam nenhum dano no elemento ensaiado ou deixam pequenos danos para serem reparados após o ensaio”.

Foram utilizados dos ensaios de:

- Pacometria
- Esclerometria
- Ultrassonografia
- Aplicação de fenolftaleína

### **3.2.1. PACOMETRIA**

O ensaio de pacometria é o ensaio não destrutivo que consegue detectar a localização, o diâmetro e cobrimento das barras de aço em estruturas de concreto armado por meio de indução magnética. Também é muito recomendado a utilização do pacômetro antes da realização dos ensaios de esclerometria, ultrassonografia e extração de corpos de provas, visto que estes ensaios não podem ser realizados em áreas sobre as armaduras do concreto armado.

### **3.2.2. ESCLEROMETRIA**

O ensaio de esclerometria é um método não destrutivo que mede a dureza superficial do concreto, fornecendo elementos para a avaliação da qualidade do concreto endurecido.

Para a execução do ensaio de esclerometria na elaboração do presente trabalho foram seguidas as instruções presentes na NBR 7584/2012 – Concreto Endurecido – Avaliação da dureza superficial pelo esclerômetro de reflexão, onde foram evitadas superfícies úmidas, nas áreas carbonatadas foi aplicado o coeficiente de correção para a realização do cálculo da dureza do concreto, as áreas do ensaio foram polidas com o uso do disco de carborundum através de movimentos circulares, e a poeira foi removida a seco. Todos os ensaios foram executados com no mínimo 50mm de distância entre cantos e arestas e foi adotado o ensaio com 16 impactos em todas as áreas ensaiadas. E todos os ensaios foram precedidos do ensaio de pacometria, assim evitando-se armaduras.

### **3.2.3. ULTRASSONOGRAFIA**

O ensaio de ultrassonografia no concreto é um método não destrutivo que determina a velocidade de propagação de ondas longitudinais, obtidas por pulsos ultrassônicos, através de um componente de concreto normatizado pela NBR 8802/2013 – Concreto endurecido – Determinação de velocidade de propagação de onda ultrassônica e tem como principais aplicações:

- a) Avaliação da resistência à compressão do concreto;
- b) Verificação de homogeneidade do concreto;
- c) Detecção de eventuais falhas internas de concretagem, profundidade de fissuras e outras imperfeições;

- d) Monitoramento de variações no concreto, ao longo do tempo, decorrentes de agressividade do meio (ataque químico) principalmente pela ação de sulfatos.

O resultado desejado na realização deste ensaio é a velocidade de propagação de ondas, que é obtida conforme a seguinte equação:

$$V = \frac{L}{t}$$

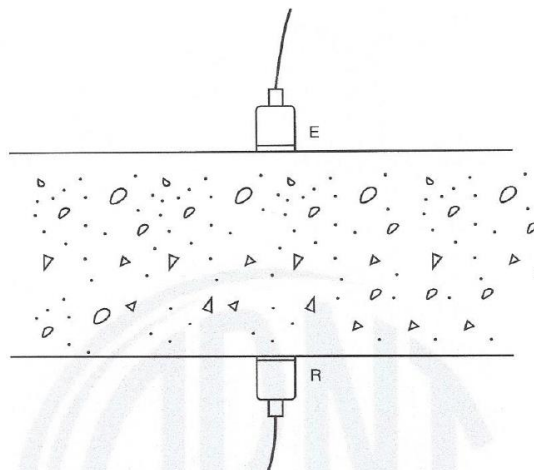
Onde, V = Velocidade de propagação da onda (m/s);

L = Distância entre as faces dos transdutores (m);

t = Tempo efetivo mínimo lido (s).

O ensaio pode ser realizado de 3 maneiras distintas: direta, semi-direta e indireta. Na execução do presente trabalho todos os ensaios foram realizados da forma direta, pois de acordo com a norma NBR 8802/2013 – Concreto endurecido – Determinação de velocidade de propagação de onda ultrassônica as ondas são recebidas com maior intensidade, isso se dá pelo fato dos transdutores estarem posicionados em faces opostas. E assim como os ensaios de esclerometria, todos os ensaios foram precedidos do ensaio de pacometria, assim evitando-se armaduras. Esquema com a realização do ensaio da forma direta é mostrado na Figura 3.

Figura 3 – Esquema do ensaio de ultrassonografia com transmissão direta.



Fonte: NBR 8802/2013 – Concreto endurecido – Determinação de velocidade de propagação de onda ultrassônica

### 3.2.4. APLICAÇÃO DE FENOFTALEÍNA

A fenolftaleína é um indicador de pH que em contato com meios básicos é capaz de alterar sua coloração de incolor para rosa. Como um concreto com boa qualidade tem em seu interior pH superior a 12, a substância quando aplicada a um corpo de prova de concreto deve mudar sua coloração para rosa para indicar um concreto de boa qualidade. Caso permaneça incolor, pode-se afirmar que a área está carbonatada, assim podendo causar corrosão nas armaduras desse elemento estrutural caso a área esteja em contato com as armaduras.

## 4. METODOLOGIA

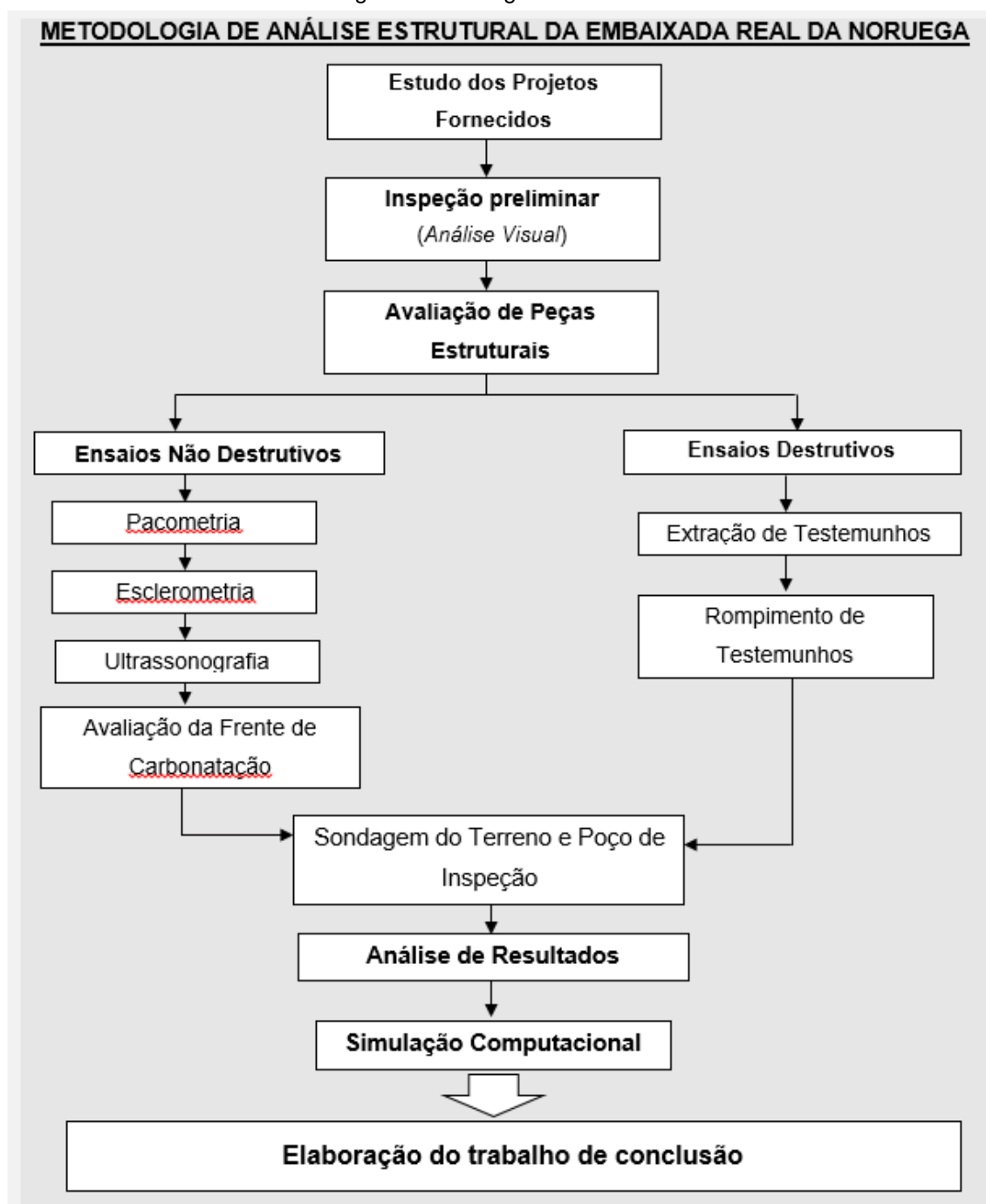
Para garantir a qualidade das estruturas dos edifícios existentes no Complexo “A” foram realizados diversos ensaios sendo os Não Destrutivos e os Destrutivos.

Primeiramente foi realizada uma inspeção visual preliminar com registros fotográficos das patologias encontradas. Em seguida foram realizados ensaios Não Destrutivos e Destrutivos para levantar dados sobre as estruturas.

Em seguida foi elaborado uma simulação estrutural, por uma equipe externa ao trabalho, no programa EBERICK, com a utilização dos dados levantados em campo, onde adicionou-se o pavimento adicional sobre as estruturas já existentes, sem a realização de reforços na estrutura, no solo e nas fundações.

Afim de garantir a melhor produtividade da equipe durante dos dias de inspeção e ensaios, foi montado o fluxograma a seguir para saber-se previamente o que seria feito em cada dia. O fluxograma seguido pode ser visto na Figura 4.

Figura 4 – Fluxograma utilizado.



Fonte: Autor

## 4.1. INSPEÇÃO PRELIMINAR

Para realizar a verificação de desempenho das estruturas das edificações do Complexo “A” foram realizadas inspeções para detectar possíveis manifestações patológicas. Além da verificação visual, também foram utilizados os seguintes equipamentos: câmera fotográfica semiprofissional, câmera termográfica e fissurômetro.

De modo geral as edificações estão em estado satisfatório de conservação, apresentando apenas algumas manifestações patológicas que serão descritas a seguir.

As principais manifestações patológicas encontradas nas dependências das edificações foram sinais de infiltração, trincas/fissuras, eflorescência e deslocamento do concreto.

Os sinais de infiltrações detectados se encontravam no escritório da residência principal, no interior da residência de um dos funcionários, na descida de algumas tubulações aparentes na área externa dos edifícios e na varanda da residência principal. Para a melhor visualização desta manifestação patológica foi utilizada uma câmera termográfica que detectou a diferença de temperatura na região onde há infiltração. Os sinais de infiltração podem ser vistos nas imagens das Figuras 5, 6, 7, 8, 9.

Figura 5 – Infiltração no escritório da residência principal.



Fonte: Arquivo pessoal

Figura 6 – Infiltração no interior da residência de funcionário.



Fonte: Arquivo pessoal



Figura 7 – infiltração nas tubulações aparentes na área externa.



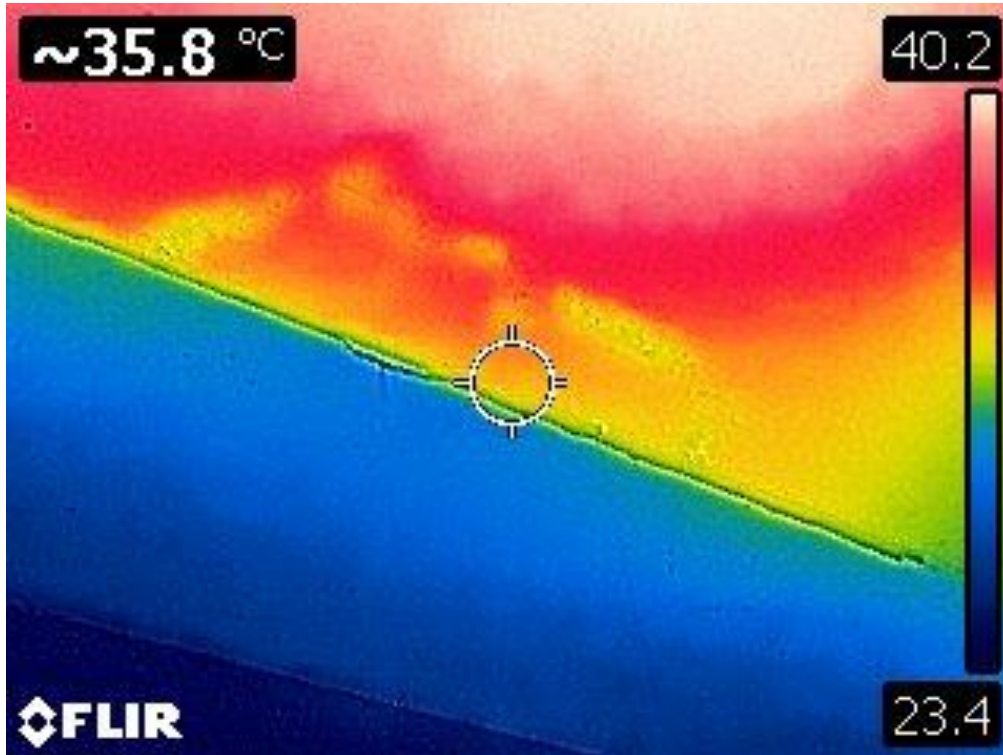
Fonte: Arquivo pessoal

Figura 8 – Infiltração na varanda da residência principal. (Fotografia real)



Fonte: Arquivo pessoal

Figura 9 – Infiltração na varanda da residência principal. (Fotografia termográfica)



Fonte: Arquivo pessoal

As trincas/fissuras foram encontradas no corredor que liga o prédio antigo ao novo do escritório do edifício principal, na laje da residência de um dos funcionários e na garagem. Quando possível, o fissurometro foi utilizado para medir a espessura da abertura destas trincas/fissuras. As trincas/fissuras podem ser vistas nas imagens das Figuras 10, 11, 12, 13, 14.

Figura 10 – Trinca/fissura no corredor do escritório.



Fonte: Arquivo pessoal

Figura 11 – Trinca/fissura no corredor do escritório.



Fonte: Arquivo pessoal

Figura 12 – Trincas/fissuras em laje da residência de funcionário.



Fonte: Arquivo pessoal

Figura 13 – Trinca/fissura na garagem.



Fonte: Arquivo pessoal

Figura 14 – Detalhe da trinca/fissura da garagem.



Fonte: Arquivo pessoal

Ao vistoriar a área da piscina e arredores constatou-se sinais de lixiviação/eflorescência no revestimento externo desta área. Esta lixiviação/eflorescência pode ter ocorrido devido a trincas/fissuras no revestimento, que fizeram com que a água da chuva penetrasse no elemento e carresse hidróxido de cálcio ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ) até a superfície externa. Os pontos com sinais de eflorescência podem ser vistos nas imagens das Figuras 15, 16, 17.



Figura 15 – Pontos de acúmulo de lixiviação na superfície de revestimento cerâmico.



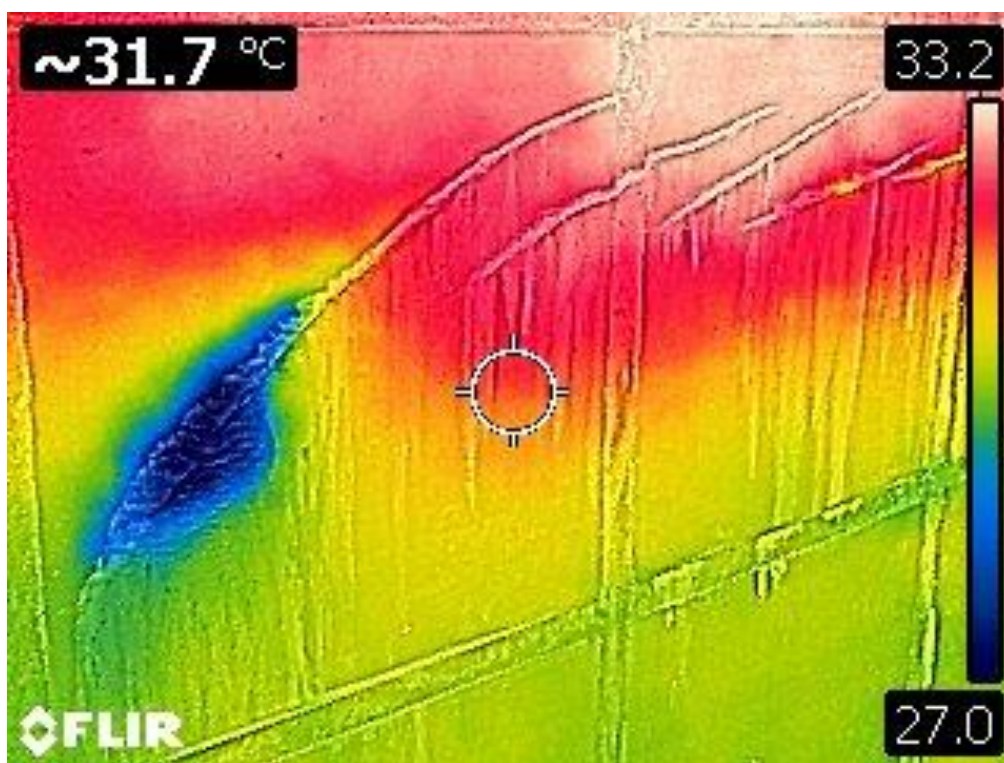
Fonte: Arquivo pessoal

Figura 16 – Eflorescência na superfície de revestimento cerâmico. (Fotografia real)



Fonte: Arquivo pessoal

Figura 17 – Eflorescência na superfície de revestimento cerâmico. (Fotografia termográfica)



Fonte: Arquivo pessoal

Foi observado que em uma viga próxima a guarita antiga havia exposição de armaduras por deslocamento do concreto de cobertura. Porém, segundo oitivas de funcionários, este concreto havia sido removido pelo próprio condomínio pois estava atrapalhando a passagem de veículos no local. Recomenda-se o reparo imediato deste elemento para que o mesmo não evolua para uma corrosão eletroquímica, comprometendo a peça estrutural. Como pode ser visto na Figura 18.

Figura 18 – Viga com armadura exposta.



Fonte: Arquivo pessoal

## 4.2. ENSAIOS REALIZADOS

### 4.2.1. PACOMETRIA

O ensaio de pacometria é o ensaio não destrutivo que consegue detectar a localização, o diâmetro e cobrimento das barras de aço em estruturas de concreto armado por meio de indução magnética.

A caracterização das armaduras das estruturas servirá de base para a elaboração do projeto estrutural das edificações e posteriormente análise estrutural.



Além de sua importância no levantamento de dados para a análise estrutural, este ensaio tem importância para guiar outros ensaios que foram realizados (esclerometria, ultrassonografia e extração de testemunhos).

No levantamento de dados realizados no Condomínio “A” foram realizados 35 ensaios de pacometria em vários elementos estruturais das edificações. A Tabela 1 apresenta os elementos estruturais ensaiados.

Tabela 1 – Elementos ensaiados por pacometria.

P01	P02	P03	P04	P05	P06	P07	P08	P09	P10
P11	P12	P13	P14	P15	P16	P17	P18	P19	P20
P21	P22	V2	V3	V4	P23	P24	P25	P26	P27
P28	P29	P30	P31	P32					

Fonte: Autor

A realização dos ensaios de pacometria podem ser vistos nas Figuras 19 e 20.

Figura 19 – Realização de ensaio de pacometria em pilar de concreto.



Fonte: Arquivo pessoal

Figura 20 – Realização de ensaio de pacometria em pilar de concreto.



Fonte: Arquivo pessoal

#### **4.2.2. ESCLEROMETRIA**

O ensaio de esclerometria é um método não destrutivo que mede a dureza superficial do concreto, fornecendo elementos para a avaliação da qualidade do concreto endurecido.

O ensaio é baseado no princípio da quantidade do movimento e consiste em realizar impactos na superfície da estrutura e medir o retorno da força aplicada após o impacto. O equipamento utilizado é chamado de esclerômetro de Schmidt.

Esse ensaio foi realizado conforme a NBR 7584/2012 – Concreto Endurecido – Avaliação da dureza superficial pelo esclerômetro de reflexão.

Segundo a norma supracitada, as superfícies dos elementos a serem ensaiados devem ser secas ao ar, limpas e, preferencialmente planas. Deve ser dada preferência a superfícies confinadas por formas não absorventes e lisas, verticais ou inclinadas.

A norma cita ainda que a área de ensaio deve ser preparada por meio de polimento enérgico com prisma ou disco de carborudum, traves de movimentos circulares. A área deve distar no mínimo 50 mm dos cantos e arestas dos elementos estruturais e estar compreendida entre 8.000 mm<sup>2</sup> e 40.000 mm<sup>2</sup>. O carborudum e a preparação da área de ensaio são apresentados nas Figuras 21 e 22.

Figura 21 – Disco de carborudum.



Fonte: Arquivo pessoal

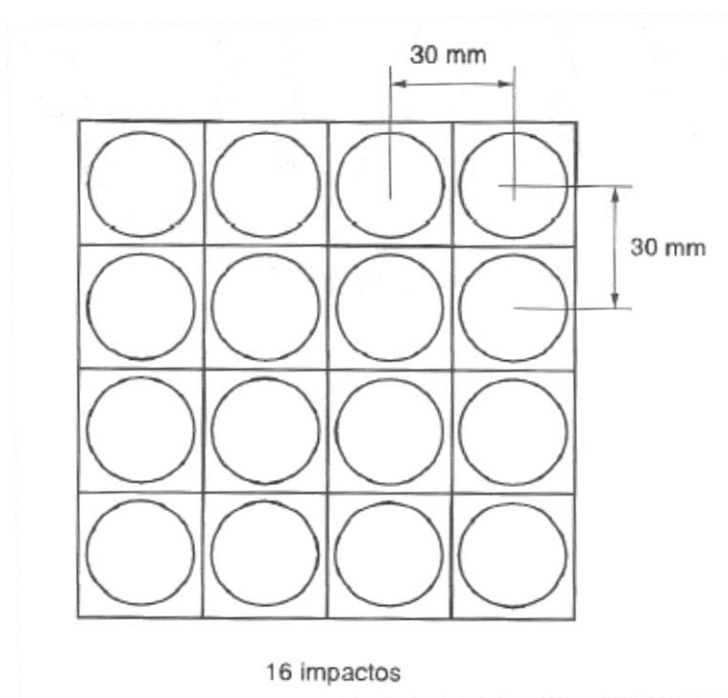
Figura 22 – Polimento da área de ensaio.



Fonte: Arquivo pessoal

Em cada área de ensaio, devem ser efetuados 16 impactos, não sendo permitido mais de um impacto sobre um mesmo ponto. Devem ser evitados impactos sobre armaduras, bolhas e áreas similares, que não representem o concreto em avaliação, por isso a importância da realização prévia do ensaio de pacometria. A área de ensaio é exemplificada na Figura 23.

Figura 23 – Exemplo de área de ensaio.



Fonte: NBR 7584/2013: Concreto endurecido – Avaliação da dureza superficial pelo esclerômetro de reflexão – Método de ensaio

Para o trabalho Condomínio "A" foram realizados 30 ensaios de esclerometria em vários pontos das edificações, de modo a abranger os diferentes tipos de concreto utilizados durante a execução das obras. A tabela 2 apresenta os 30 elementos estruturais ensaiados.

Tabela 2 – Pilares ensaiados por esclerometria.

P01	P02	P03	P04	P05	P06	P07	P08
P09	P10	P11	P12	P13	P14	P15	P16
LR1a	LR1b	V1	L1	P21	P22	P23	P24
P25	P26	P27	P28	P29	P30		

Fonte: Autor

A execução do ensaio de esclerometria pode ser visto nas Figuras 24 e 25.

Figura 24 – Realização de ensaio de esclerometria em Pilar de Concreto Armado.



Fonte: Arquivo pessoal

Figura 25 – Realização de ensaio de esclerometria em Pilar de Concreto Armado.



Fonte: Arquivo pessoal

### 4.2.3. ULTRASSONOGRAFIA

A realização de ensaio de ultrassonografia no concreto é um método não destrutivo que determina a velocidade de propagação de ondas longitudinais, obtidas por pulsos ultrassônicos, através de um componente de concreto e tem como principais aplicações:

- a) Avaliação da resistência à compressão do concreto;
- b) Verificação de homogeneidade do concreto;
- c) Detecção de eventuais falhas internas de concretagem, profundidade de fissuras e outras imperfeições;
- d) Monitoramento de variações no concreto, ao longo do tempo, decorrentes de agressividade do meio (ataque químico) principalmente pela ação de sulfatos.

Para a avaliação da resistência a compressão do concreto deve-se ter muita cautela na execução do ensaio, de modo a ensaiar áreas que apresentem apenas concreto, ou seja, evitando as armaduras, por isso, assim como no ensaio de esclerometria, a realização prévia do ensaio de pacometria é recomendada. A tabela 3, proposta por Neville (1981), apresenta a qualidade dos concretos em relação a velocidade de propagação ultrassônica (VPU).

Tabela 3 – Qualidade dos concretos em relação a velocidade de propagação ultrassônica (VPU).

<b>VPU</b>	<b>QUALIDADE DO CONCRETO</b>
> 4500	EXCELENTE
3500 < VPU < 4500	ÓTIMO / BOM
3000 < VPU < 3500	BOM / DUVIDOSO
2000 < VPU < 3000	REGULAR
VPU < 2000	RUIM

Fonte: Neville (1981)

Os ensaios de ultrassonografia realizados no Condomínio “A” foram executados conforme a NBR 8802/2013 – Concreto endurecido – Determinação de velocidade de propagação de onda ultrassônica.

Para a realização do ensaio a norma supracitada determina que os componentes de concreto a serem ensaiados devem ter as superfícies planas, lisas e isentas de sujeira.

Deve-se aplicar uma fina camada de acoplante nas faces dos transdutores ou no corpo de prova a ser ensaiado.

O acoplamento e a pressão entre as superfícies dos transdutores e do corpo de prova ou componente que está sendo ensaiado devem ser considerados satisfatórios quando for obtido o valor mínimo de leitura com variação de até 1%.

A medida da distância entre os pontos onde devem ser acoplados os centros das faces dos transdutores deve ser determinada com precisão de 1%.

Para o trabalho no Condomínio “A” foram realizados 10 ensaios de ultrassonografia em vários pontos das edificações, de modo a abranger os



diferentes tipos de concreto utilizados durante a execução das obras. A tabela 4 apresenta os 15 elementos estruturais ensaiados.

Tabela 4 – Pilares ensaiados por ultrassonografia.

P03	P04	P06	P07	P08
P09	P10	P11	P12	P13
P14	P15	P16	P20	V01

Fonte: Autor

As Figuras 26 e 27 mostram os ensaios de ultrassom sendo realizados em pilares de concreto armado no Condomínio “A”

Figura 26 – Realização de ensaio de ultrassonografia em Pilar de Concreto Armado.



Fonte: Arquivo pessoal

Figura 27 – Realização de ensaio de ultrassonografia em Pilar de Concreto Armado.



Fonte: Arquivo pessoal

#### **4.2.4. EXTRAÇÃO E ROMPIMENTO DE TESTEMUNHOS**

A extração de testemunhos é um método destrutivo onde se retiram corpos de prova cilíndricos de concreto da estrutura existente para posterior rompimento e verificação da resistência à compressão axial do concreto.

A execução do método seguiu os procedimentos descritos na norma NBR 7680/2015, que fixa condições exigíveis na extração, preparo, ensaio e análise de testemunhos cilíndricos de estruturas de concreto simples, armado ou protendido.

De acordo com a norma supracitada, as armaduras dos elementos estruturais não podem ser cortadas, sendo necessário o uso do pacômetro para detecção das armaduras.

Devido a concentração de armaduras detectadas com o pacômetro foram retirados testemunhos com diâmetro igual a 75 mm.

Foram realizadas 15 extrações em vários pontos das edificações, de modo a abranger os diferentes tipos de concreto utilizados durante a execução das obras. A tabela 5 apresenta os 15 elementos de onde foram extraídos os testemunhos.

Tabela 5 – Elementos estruturais de onde foram extraídos testemunhos.

P02	P03	P04A	P05	P06
P07	P08	P09A	P12	P13
P14	P15	P01 CASA 1	P02 CASA 1	P01 CASA 2

Fonte: Autor

As Figuras 28, 29 e 30 representam a execução do ensaio em diferentes pontos.

Figura 28 – Realização de extração de testemunho do pilar da edificação principal antiga.



Fonte: Arquivo pessoal

Figura 29 – Realização de extração de testemunho do pilar da residência dos funcionários.



Fonte: Arquivo pessoal

Figura 30 – Realização de extração de testemunho do pilar P07.



Fonte: Arquivo pessoal

As extrações em elementos estruturais podem prejudicar o desempenho estrutural e a durabilidade da construção. Devido a isto foram realizadas reconstituições nos locais de extração. Os furos foram preenchidos com graute, que é um material que tem como característica sua elevada resistência mecânica e alta proteção contra corrosão. As correções dos furos podem ser observadas nas Figuras 31, 32 e 33.



Figura 31 – Local de extração de testemunho reconstituído.



Fonte: Arquivo pessoal

Figura 32 – Local de extração de testemunho reconstituído.



Fonte: Arquivo pessoal

Figura 33 – Local de extração de testemunho reconstituído.



Fonte: Arquivo pessoal

Para a realização do ensaio de resistência à compressão axial, os topos dos testemunhos foram aparados com disco de corte diamantado, formando planos paralelos entre si e perpendiculares ao eixo do testemunho. Segundo a NBR 7680/2015 as dimensões dos testemunhos a serem ensaiados não podem apresentar razão de esbeltez  $h/d$  superior a dois ou inferior a um, após a preparação das superfícies de ensaio.

As rupturas dos corpos de prova foram realizadas de acordo com a NBR 5739/2007 – Concreto – Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos.

A Figura 34 apresenta um testemunho de concreto já preparado nas dimensões corretas pronto para ser rompido na prensa hidráulica.

Figura 34 – Testemunho em prensa hidráulica pronto para ser rompido.



Fonte: Arquivo pessoal

#### **4.2.5. AVALIAÇÃO DE PENETRAÇÃO DE CARBONATAÇÃO COM FENOLFTALEÍNA**

A carbonatação do concreto é o termo utilizado para a penetração de dióxido de carbono em elementos de concreto. Esta penetração passa a ser preocupante quando ultrapassa os limites de cobrimento das armaduras, pois pode causar a corrosão destas armaduras, deixando a estrutura vulnerável.

Para avaliar a penetração de carbonatação nos elementos estruturais do Condomínio “A”, foram realizados ensaios de carbonatação em alguns dos testemunhos extraídos (item 4.2.4.).

O ensaio de carbonatação consiste na visualização da alteração do pH do concreto de cobrimento. O concreto normalmente possui pH entre 12,6 e 13,5. Ao se carbonatar, estes números reduzem para valores próximos de 9,5.



Para medir a alteração do pH do concreto faz-se a aspersão de um indicador de pH. No caso do Condomínio “A” foi utilizada uma solução de fenolftaleína.

Ao aplicar fenolftaleína nos testemunhos extraídos a região de concreto não carbonatada assume uma coloração rosa. Já a região carbonatada não apresenta alteração de coloração (pH inferior a 9,5).

As Figuras 35 e 36 apresentam a realização de aspersão de fenolftaleína nos testemunhos extraídos da estrutura de edificações do Condomínio “A”.

Figura 35 – Aplicação de fenolftaleína em testemunhos.



Fonte: Arquivo pessoal

Figura 36 – Medição da frente de carbonatação em testemunhos de concreto.



Fonte: Arquivo pessoal

#### 4.2.6. SONDAGEM

Para realizar um estudo do solo em que as edificações do Condomínio “A” se encontram foram realizadas duas sondagens tipo SPT (Standart Penetration Test), que no Brasil é regido pela NBR 6484/2001 – Solo – Sondagens de simples reconhecimento com SPT – Método de ensaio.

As finalidades deste método são:

- a) A determinação dos tipos de solo em suas respectivas profundidades de ocorrência;
- b) A posição do nível d’água; e
- c) Os índices de resistência à penetração (N) a cada metro.

O ensaio de sondagem tipo SPT consiste na montagem de um tripé, que tem à sua parte superior uma roldana acoplada. O conjunto, tripé, roldana e cordas, auxiliam no levantamento de peso de 65 kg (martelo), que depois cai em queda livre para fazer penetrar o amostrador padrão no solo. O ensaio foi realizado segundo as recomendações da NBR 6484/2001.

O SPT foi executado a cada metro ou na transição de cada camada. O Número de Golpes (N) foi determinado para se fazer penetrar 30 cm do Barrilete Amostrador, após uma penetração inicial de 15 cm. Valores de penetração diferentes de 30 cm estão indicados nos laudos de sondagem.

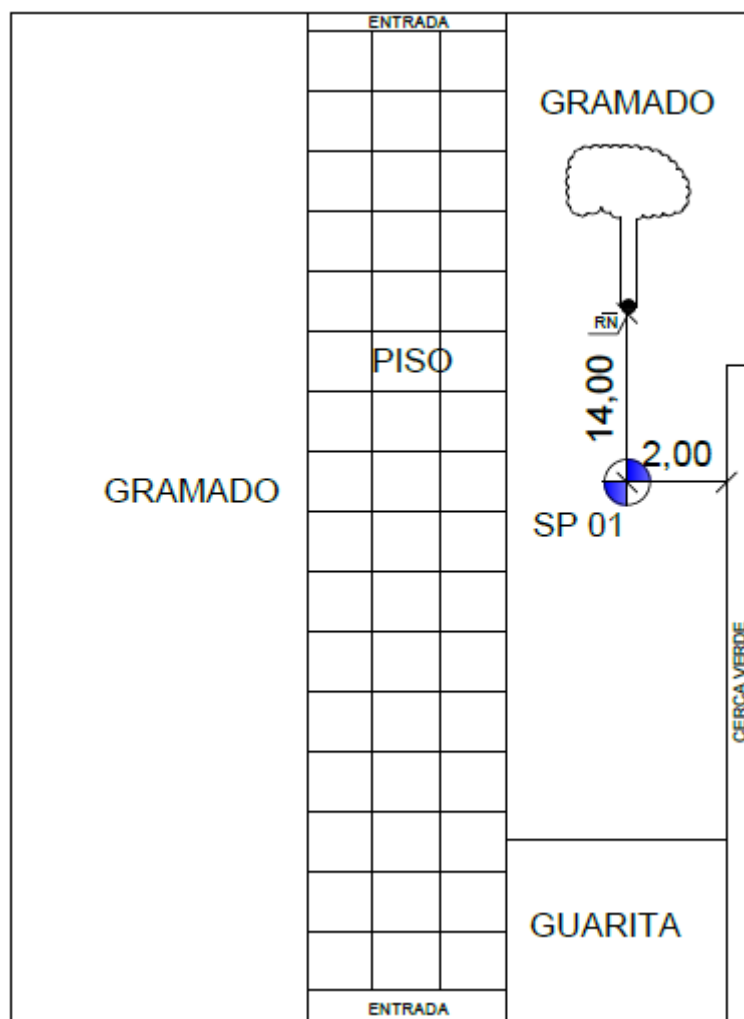
Quando retirado o amostrador do furo, é recolhida e acondicionada uma amostra extraída do “bico” do amostrador. Quando observada mudança de tipo de solo ao longo do amostrador, a parte que a caracteriza também deve ser armazenada e identificada. As amostras extraídas são referenciadas em relação à superfície do terreno, conforme laudos anexos. Elas são classificadas e mantidas em laboratório por um período de 30 dias. A Classificação táctil-visual indica o tipo de solo, a cor, a plasticidade, a umidade aproximada, o índice de consistência para solos argilosos, siltosos e silte argiloso, ou seja, para aqueles que apresentam plasticidade, e o grau de compacidade para solos arenosos e silte arenosos, ou seja, para aqueles não plásticos.

Conforme descrito acima, a sondagem avança em profundidade, medindo-se a resistência do solo a cada metro e retirando-se do amostrador amostras do tipo de solo atravessado.

De suma importância para o projeto e execução de uma obra é a determinação do nível d'água, quando ocorrer, interrompe-se o trabalho e anota-se a sua profundidade. Durante os furos de sondagens SP01 e SP02, o nível d'água não foi constatado e resistência do solo com 17,18 metros para SP01 e 19,20 metros para SP02. Os resultados obtidos podem ser vistos no Anexo I.

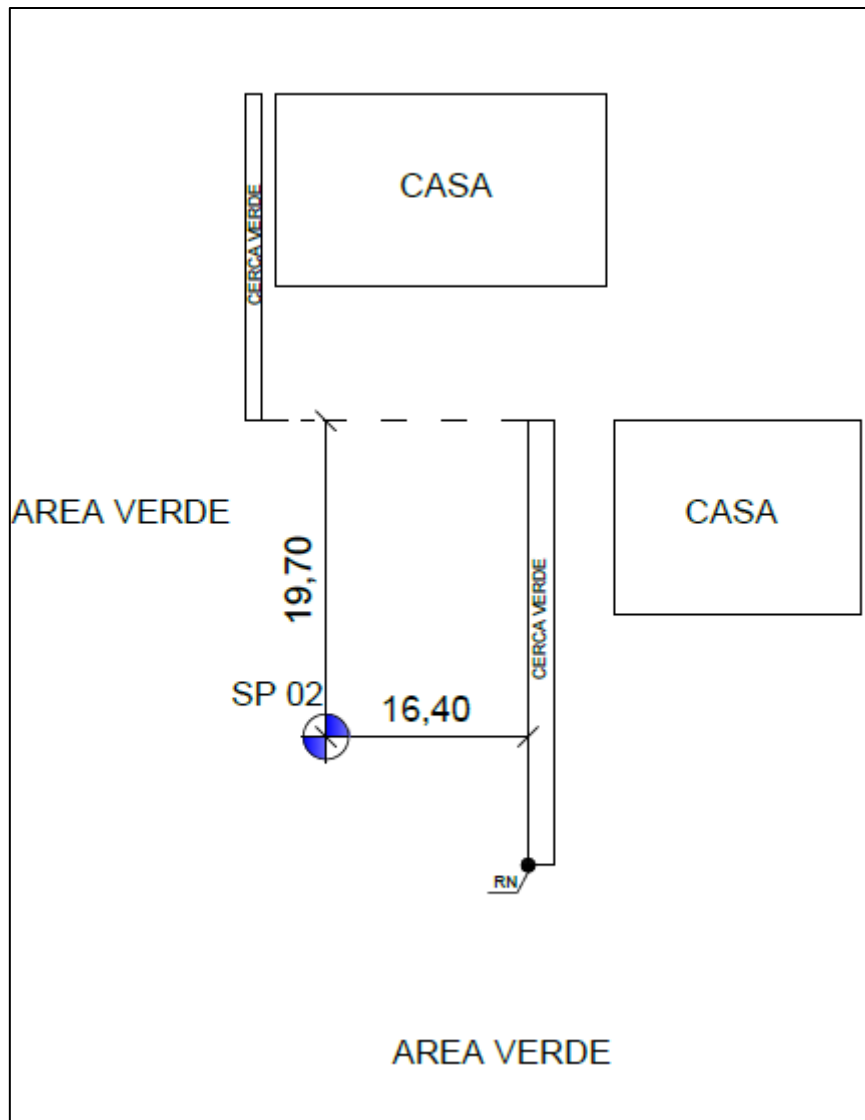
Os locais de sondagem SP01 e SP02 são exibidos nas Figuras 37 e 38.

Figura 37 – Croqui com a localização da primeira sondagem realizada (SP01).



Fonte: Autor

Figura 38 – Croqui com a localização da segunda sondagem realizada (SP02).



Fonte: Autor

A realização do ensaio de SPT é representado pelas Figuras 39 e 40.



Figura 39 – Sondagem sendo realizada.



Fonte: Arquivo pessoal

Figura 40 – Sondagem sendo realizada.



Fonte: Arquivo pessoal

#### 4.2.7. POÇO DE INSPEÇÃO

Para a verificação do tipo de fundação executada nos edifícios e sua profundidade foi realizado um poço de inspeção por meio de escavação manual de 80x80cm ao lado do pilar localizado na parte posterior da edificação antiga.

Para garantir a segurança dos trabalhadores a escavação foi realizada até a profundidade de 5 metros, pois o desconfinamento do solo poderia causar o colapso do solo sobre os funcionários.

Durante a realização da escavação pode-se verificar que as fundações utilizadas foram estacas escavadas, concretadas *in loco* com diâmetro entre 40 e 50 cm.

Como observado na inspeção preliminar, os edifícios não possuem trincas/fissuras, conclui-se então que as fundações foram até a profundidade esperada de aproximadamente de 15,16 ou 17 metros, conforme indicado pelo ensaio de sondagem.

A realização da escavação do poço de inspeção é apresentada nas Figuras 41, 42 e 43.

Figura 41 – Início da escavação.



Fonte: Arquivo pessoal



Figura 42 – Bloco de coroamento encontrado a 90 cm do nível do terreno.



Fonte: Arquivo pessoal

Figura 43 – Estaca abaixo do bloco de coroamento (início da estaca a 1,40 m do nível do terreno).



Fonte: Arquivo pessoal

Após a escavação, o poço de inspeção foi fechado com o mesmo solo retirado, conforme a Figura 44, devidamente compactado.



Figura 44 – Poço de inspeção fechado após escavação.



Fonte: Arquivo pessoal

## 5. ANALISE DE RESULTADOS

Neste tópico os resultados obtidos após cada ensaio serão apresentados e brevemente comentados.

### 5.1. ESCLEROMETRIA

Cada impacto realizado com o esclerômetro de Schmidt fornece um índice esclerométrico. Segundo a NBR 7584/2012 o resultado a ser calculado em cada área de ensaio é o índice esclerométrico médio efetivo, para se obter tal resultado deve-se:

- a) Calcular a média aritmética dos 16 índices esclerométricos correspondentes a uma única área de ensaio.

- b) Desprezar todo índice esclerométrico individual que esteja afastado em mais de 10% do valor médio obtido e calcular nova média aritmética.
- c) O índice esclerométrico médio final deve ser obtido com no mínimo cinco valores individuais.
- d) Encontrar o índice esclerométrico médio efetivo conforme a equação a seguir:

$$I_{E\alpha} = k \cdot I_E$$

Onde:  $I_{E\alpha}$  - índice esclerométrico médio efetivo.  
k - coeficiente de correção fornecido pelo fabricante do equipamento.  
 $I_E$  - índice esclerométrico médio.

Os resultados dos 30 ensaios realizados serão apresentados na tabela 6 e 7.

Tabela 6 – Resultados encontrados nos ensaios de esclerometria.

<b>LOCAL ENSAIADO</b>	<b>Resistência Mínima Provável (MPa)</b>	<b>Resistência Máxima Provável (MPa)</b>	<b>Resistência Média (MPa)</b>
Pilar - P 01	33	47	40
Pilar - P 02	33	47	40
Pilar - P 03	41	55	48
Pilar - P 04	37	51	44
Pilar - P 05	20	32	26
Pilar - P 06	37	51	44
Pilar - P 07	28,5	41,5	35
Pilar - P 08	28,5	41,5	35
Pilar - P 09	33	47	40
Pilar - P 10	25,5	38,5	32
Pilar - P 11	32,5	45,5	39
Pilar - P 12	15	27	21
Pilar - P 13	15	27	21
Pilar - P 14	13,5	22,5	18
Pilar - P 15	29,5	42,5	36
Pilar - P 16	37	51	44
Residência 1 - Laje cobertura - Corredor	18	30	24
Residência 1 - Laje cobertura - Corredor	23,5	36,5	30
V1 - Prédio Central (Velho)	32,5	45,5	39
L1 - Prédio Central (Velho)	31,5	44,5	38
P21	28,5	41,5	35,0

Fonte: Autor

Tabela 7– Resultados encontrados nos ensaios de esclerometria.

LOCAL ENSAIADO	Resistência Mínima Provável (MPa)	Resistência Máxima Provável (MPa)	Resistência Média (MPa)
P22	25,5	38,5	32,0
P23	29,5	42,5	36,0
P24	37,0	51,0	44,0
P25	32,5	45,5	39,0
P26	28,5	41,5	35,0
P27	33,0	47,0	40,0
P28	25,5	38,5	32,0
P29	20,0	32,0	26,0
P30	15,0	27,0	21,0

Fonte: Autor

Analisando os resultados pôde-se observar que de acordo com o ensaio de esclerometria os concretos dos edifícios apresentam boa dureza superficial. Estes dados foram comparados com os resultados de outros ensaios para se chegar a um diagnóstico mais preciso sobre a qualidade dos concretos utilizados na construção dos edifícios, pois existem fatores que influenciam na correlação dos índices esclerométricos com a resistência à compressão do concreto. Estes resultados são obtidos pelos dados do equipamento, uma vez que a norma fornece os índices esclerométricos.

## 5.2. ULTRASSONOGRAFIA

O resultado desejado na realização deste ensaio é a velocidade de propagação de ondas, que é obtida conforme a seguinte equação:

$$V = \frac{L}{t}$$

Onde, V = Velocidade de propagação da onda (m/s);

L = Distância entre as faces dos transdutores (m);

t = Tempo efetivo mínimo lido (s).

Os resultados encontrados nos 15 ensaios realizados serão apresentados na tabela 08.

Tabela 8 – Resultados encontrados nos ensaios de ultrassonografia.

Localização	Velocidade de Propagação (m/s)	Qualidade do concreto
P03	3816,8	ÓTIMO/BOM
P04	3773,6	ÓTIMO/BOM
P06	4092,7	ÓTIMO/BOM
P07	3888,1	ÓTIMO/BOM
P08	3558,7	ÓTIMO/BOM
P09	3703,7	ÓTIMO/BOM
P10	3610,1	ÓTIMO/BOM
P11	3854,2	ÓTIMO/BOM
P12	3652,2	ÓTIMO/BOM
P13	3625,3	ÓTIMO/BOM
P14	3613,2	ÓTIMO/BOM
P15	3703,0	ÓTIMO/BOM
P16	3984,1	ÓTIMO/BOM
P20	3581,2	ÓTIMO/BOM
V01	2409,6	REGULAR

Fonte: Autor

De acordo com os resultados encontrados e correlacionando-os com a tabela proposta por Neville (1981), observa-se, no geral, a boa homogeneidade e a qualidade do concreto utilizado.

### 5.3. ROMPIMENTO DOS TESTEMUNHOS EXTRAÍDOS

A resistência à compressão de cada testemunho foi obtida de acordo com a carga aplicada sobre ele até seu rompimento pela sua área. Os resultados obtidos são apresentados na tabela 09.

Tabela 9 – Resultados de resistência dos testemunhos extraídos.

IDENTIFICAÇÃO DA AMOSTRA	RESISTÊNCIA (MPa)
P02	21,8
P03	25,6
P04A	29,3
P05	18,7
P06	34,7
P07	21,6
P08	29,6
P09A	37,8
P12	11,7
P13	11,0
P14	19,3
P15	26,1
P01 CASA 1	17,1
P02 CASA 1	17,1
P01 CASA 2	18,6

Fonte: Autor

#### **5.4. AVALIAÇÃO DE PENETRAÇÃO DE CARBONATAÇÃO**

Durante a aplicação de fenolftaleína notou-se que o esguicho estava com defeito por isso o ensaio teve que ser realizado em desacordo com a norma, gerando assim um possível erro, mas não irá comprometer o resultado final do estudo. A aplicação da fenolftaleína em desacordo com a norma pode ser vista na Figura 35 do presente trabalho. Após a avaliação da penetração de carbonatação nos testemunhos extraídos chegou-se à conclusão que houve a carbonatação do concreto na sua superfície, porém o máximo de penetração observada foi de aproximadamente 3 cm, não atingindo assim as armaduras dos elementos (conforme observado no ensaio de pacometria os cobrimentos dos elementos não ultrapassaram 5 cm) e, portanto, não colocando a estrutura em situação vulnerável devido à carbonatação do concreto.

#### **5.5. SONDAGEM**

Os resultados obtidos após a realização dos ensaios de inspeção do solo são apresentados nos laudos de sondagem presente no Anexo I. Observando estas sondagens, pode ser observar que o solo não é de boa qualidade até os 16 metros, só apresentando uma boa resistência a partir de 17, 18 metros a partir do nível do solo no SPT01 e a partir de 19, 20 metros no SPT02.

### **6. COMPATIBILIZAÇÃO DE RESULTADOS**

Após a análise individual dos ensaios realizados optou-se por realizar uma compatibilização dos resultados para verificar como um resultado pode influenciar no outro, podendo assim chegar a uma conclusão que realmente reflita a real situação dos edifícios.

A compatibilização realizada foi dividida pelos edifícios analisados e envolveu os ensaios de esclerometria, ultrassonografia e resistência a compressão axial. A esclerometria mediu a dureza superficial do concreto, a ultrassonografia a compacidade e homogeneidade, e o rompimento mediu a resistência a compressão dos concretos utilizados nas obras dos edifícios.

Cabe salientar que os resultados mais confiáveis são os obtidos no ensaio de compressão axial do concreto, pois os outros ensaios podem apresentar fatores que influenciam na obtenção do resultado final.

Em relação aos resultados esclerométricos, a NBR 7584/2012 diz que a influência da carbonatação na dureza da superficial do concreto é significativa e promove a superestimação da resistência. Em casos extremos, os valores estimados para a resistência do concreto, quando há carbonatação, podem superar os valores reais em mais de 50% em função da espessura da camada carbonatada.

Além da carbonatação, outros fatores influenciam na correlação dos índices esclerométricos com a resistência à compressão do concreto, são eles:

- Condições de umidade da superfície;
- Massa específica do concreto;
- Esbeltez do elemento estrutural ensaiado;
- Proximidade entre a área de ensaio e uma falha no concreto;
- Temperatura do esclerômetro e do concreto;
- Dosagem do concreto;
- Tipo de cura;
- Superfície calcinadas por altas temperaturas (incêndio);
- Outros.

Já no ensaio de ultrassonografia os fatores que influenciam nos resultados são: dimensão dos agregados, umidade presente no momento do ensaio e interferência com as armaduras do elemento estrutural.

A seguir serão apresentadas tabelas de compatibilização dos resultados obtidos em cada edifício.



## 6.1. COMPATIBILIZAÇÃO DE RESULTADOS DO EDIFÍCIO ANTIGO E RESIDÊNCIA PRINCIPAL

A tabela 10 apresenta a compatibilização dos resultados dos ensaios de esclerometria, ultrassonografia e resistência a compressão axial dos elementos estruturais presentes no edifício antigo, residência de funcionários e na residência principal.

Tabela 10– Compatibilização de resultados do edifício antigo, resid. funcionários e resid. principal.

<b>COMPATIBILIZAÇÃO DE RESULTADOS - Ed. Antigo e Resid. Principal</b>						
LOCAL DOS ENSAIOS	ESCLEROMETRIA (Mpa)			ULTRASSOM		ROMPIMENTO
	Min	Max	Media	VPU (m/s)	Qualidade	Resistência (Mpa)
Pilar - P 01	33	47	40	-	-	-
Pilar - P 02	33	47	40	-	-	21,8
Pilar - P 03	41	55	48	3816,8	ÓTIMO/BOM	25,6
Pilar - P 04	37	51	44	3773,6	ÓTIMO/BOM	-
Pilar - P 04A	-	-	-	-	-	29,3
Pilar - P 05	20	32	26	-	-	18,7
Pilar - P 06	37	51	44	4092,7	ÓTIMO/BOM	34,7
Pilar - P 07	28,5	41,5	35	3888,1	ÓTIMO/BOM	21,6
Pilar - P 08	28,5	41,5	35	3558,7	ÓTIMO/BOM	29,6
Pilar - P 09	33	47	40	3703,7	ÓTIMO/BOM	-
Pilar - P 09A	-	-	-	-	-	37,8
Pilar - P 16	37	51	44	3984,1	ÓTIMO/BOM	-
Pilar - P 20	-	-	-	3581,2	ÓTIMO/BOM	-
Pilar - P21	28,5	41,5	35	-	-	-
Pilar -P22	25,5	38,5	32	-	-	-
Pilar - P23	29,5	42,5	36	-	-	-
Pilar - P24	37	51	44	-	-	-
Pilar - P25	32,5	45,5	39	-	-	-
Pilar - P26	28,5	41,5	35	-	-	-
Pilar - P27	33	47	40	-	-	-
Pilar - P28	25,5	38,5	32	-	-	-
Pilar - P29	20	32	26	-	-	-
Pilar - P30	15	27	21	-	-	-
V1 - Prédio Central (Velho)	32,5	45,5	39	2409,6	REGULAR	-
L1 - Prédio Central (Velho)	31,5	44,5	38	-	-	-
Observações:	Não foram realizados ensaios nos elementos onde a respectiva célula não apresenta resultado.					

Fonte: Autor

Analisando a compatibilização apresentada na tabela 10 observa-se que, de modo geral, os resultados obtidos nos ensaios de esclerometria e ultrassonografia apontaram concretos de boa qualidade. Porém, estes resultados de resistência à compressão do concreto indicam valores acima dos obtidos nos ensaios de resistência a compressão axial do ensaio de extração de corpos de provas.

Este fato pode ser explicado pelos fatores de influência que existem nos ensaios de esclerometria e ultrassonografia que foram apresentados anteriormente. Como visto no item 5.4, foi detectada a penetração de carbonatação em até 3 cm no concreto, fato este que superestima os resultados do ensaio de esclerometria. Já os resultados de ultrassonografia podem ter sido influenciados pela proximidade das barras de aço.

## 6.2. COMPATIBILIZAÇÃO DE RESULTADOS DO EDIFÍCIO NOVO

A tabela 11 apresenta a compatibilização dos resultados dos ensaios de esclerometria, ultrassonografia e resistência a compressão axial dos elementos estruturais presentes no edifício novo.

Tabela 11– Compatibilização de resultados do edifício novo

COMPATIBILIZAÇÃO DE RESULTADOS - Ed. Novo						
LOCAL DOS ENSAIOS	ESCLEROMETRIA (Mpa)			ULTRASSOM		ROMPIMENTO
	Min	Max	Media	VPU (m/s)	Qualidade	Resistência (Mpa)
Pilar - P 10	25,5	38,5	32	3610,1	ÓTIMO/BOM	-
Pilar - P 11	32,5	45,5	39	3854,2	ÓTIMO/BOM	-
Pilar - P 12	15	27	21	3652,2	ÓTIMO/BOM	11,7
Pilar - P 13	15	27	21	3625,3	ÓTIMO/BOM	11
Pilar - P 14	13,5	22,5	18	3613,2	ÓTIMO/BOM	19,3
Pilar - P 15	29,5	42,5	36	3703,0	ÓTIMO/BOM	26,1
Observações:	Não foram realizados ensaios nos elementos onde a respectiva célula não apresenta resultado.					

Fonte: Autor

Analisando a compatibilização apresentada na tabela 11 observa-se que existe certa diferença de resultados entre os pilares ensaiados, porém, todos os resultados obtidos no ensaio de ultrassonografia apontaram concretos de boa qualidade.

Esta diferença de resultados pode ser explicada pelos fatores de influência que existem no ensaio de ultrassonografia que foram apresentados anteriormente, como por exemplo a umidade presente na superfície e a interferência com as armaduras da peça.

Fazendo uma análise destes resultados que foram baixos, pilares P12 e P13, e comparando-se com os testemunhos, pode-se indicar que o concreto utilizado pode ter sido rodado em obra, o que não é tão confiável, pois em alguns casos o valor da relação *a/c* aumenta prejudicando a resistência do concreto.

### **6.3. COMPATIBILIZAÇÃO DE RESULTADOS DAS RESIDÊNCIA DOS FUNCIONÁRIOS**

A tabela 12 apresenta a compatibilização dos resultados dos ensaios de esclerometria, e de determinação da resistência a compressão axial dos elementos estruturais presentes nas residências de secretários.

Tabela 12– Compatibilização de resultados das residências de secretários.

<b>COMPATIBILIZAÇÃO DE RESULTADOS - Resid. Secretários</b>						
LOCAL DOS ENSAIOS	ESCLEROMETRIA (Mpa)			ULTRASSOM		ROMPIMENTO
	Min	Max	Media	VPU (m/s)	Qualidade	Resistência (Mpa)
Residência 1 - Laje cobertura - Corredor	18	30	24	-	-	-
Residência 1 - Laje cobertura - Corredor	23,5	36,5	30	-	-	-
P01 CASA 1	-	-	-	-	-	17,1
P02 CASA 1	-	-	-	-	-	17,1
P01 CASA 2	-	-	-	-	-	18,6
Observações: Não foram realizados ensaios nos elementos onde a respectiva célula não apresenta resultado.						

Fonte: Autor

Não foi possível a realização de ensaios de ultrassonografia nas residências dos secretários pois as edificações apresentam revestimento externo, o que impossibilitou a execução dos ensaios.

Analisando a compatibilização apresentada na tabela 12 observa-se que os ensaios de esclerometria apresentaram resultados ligeiramente superiores aos obtidos no ensaio de resistência a compressão do concreto. Este fato pode ser explicado pelos fatores de influência que existem nos ensaios de esclerometria que foram apresentados anteriormente. Como visto no item 5.4, foi detectada a penetração de carbonatação em até 3 cm no concreto, fato este que superestima os resultados do ensaio de esclerometria.

## 7. CONCLUSÃO

Após o levantamento dos dados *in loco* estes foram passados para uma equipe externa ao presente trabalho, que executaram a simulação estrutural onde foi possível chegar nas conclusões que serão expostas a seguir

De acordo com a inspeções das fundações, através do laudo de sondagem e pelo poço de visita realizado, pode se considerar que elas estão satisfatórias e com desempenho adequado para as edificações atuais, sem a necessidade de execução de um reforço estrutural, mostrando-se adequada para absorver as cargas atuantes na estrutura atual.

Porém quando e se for acrescentado mais um pavimento verificou se a necessidade de reforço em vários elementos de fundações, sendo recomendado a contratação de empresa especializada de elaboração de projetos estruturais de fundações.

De acordo com a análise computacional com a utilização do *software* EBERICK, a armadura encontrada nos pilares, mostra-se de acordo com a executada no projeto. Porém quando for e se for acrescentado mais pavimento superior é observado a necessidade de reforço dos pilares da edificação. Sendo recomendado a contratação de empresa especializada ou profissional habilitado para a elaboração de projetos estruturais.

De acordo com a análise computacional, as lajes possuem resistência satisfatória para absorverem os esforços máximos de flexão. Entretanto para a execução do segundo pavimento recomenda-se a realização de uma prova de carga, para verificar-se os estados limites de utilização flechas admissíveis.

As vigas possuem deformações compatíveis e armaduras suficientes para resistir ao esforço de flexão, conforme análise computacional. Porém ao se acrescentar o pavimento superior verifica se a necessidade de reforço em diversos elementos. Sendo recomendado a contratação de empresa especializada ou profissional habilitado para a elaboração de projetos estruturais.

No geral os resultados obtidos com os ensaios mostram que a atual estrutura está em boas condições de uso.

Porém ao acrescentar-se mais um pavimento superior, observou-se resultados no software utilizado que pode haver a ruína de alguns elementos estruturais, bem como a perda da estabilidade estrutural da edificação, podendo chegar ao colapso da estrutura, se não for executado os reforços necessários nos elementos estruturais.

Para a execução do pavimento superior, sugere-se a realização dos seguintes serviços:

- Elaboração de Projeto e execução de Reforço de pilares, vigas e fundações.
- Realização de prova de carga nas lajes pré-moldadas, para se verificar a necessidade de reforço das lajes solicitadas.
- Para a execução do segundo pavimento sugere-se o uso de elementos leves para vedações verticais, tais como: bloco de concreto celular, drywall, vedações com steel frame, pois estes sistemas construtivos minimizam o carregamento e podendo reduzir o custo do reforço estrutural.

## **7.1 SUGESTÃO PARA PESQUISAS FUTURAS**

Realização de orçamento comparativo entre a realização dos reforços estruturais apontados e realizar demolição e executar outros edifícios

Utilização de ensaios não normatizados como o de pull off e pull out

Realizar análise de *software* computacional para medir as tensões do concreto com os dados obtidos em campo.

Avaliar a interferência da carbonatação na resistência do concreto fazendo comparativos com corpos de prova.

## 8. REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7584: **Concreto Endurecido – Avaliação da dureza superficial pelo esclerômetro de reflexão**, Rio de Janeiro, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 8802: **Concreto endurecido – Determinação de velocidade de propagação de onda**, Rio de Janeiro, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7680-1: **Concreto – Extração, preparo, ensaio e análise de testemunhos de estruturas de concreto – Parte 1: Resistência a compressão axial**, Rio de Janeiro, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5739: **Concreto – Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndrico**, Rio de Janeiro, 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6484: **Solo – Sondagens de simples reconhecimento com SPT – Método de ensaio**, Rio de Janeiro 2001.

EVANGELISTA, A.C.J. **Avaliação da resistência do concreto usando diferentes ensaios não destrutivos**. Tese de Doutorado – Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ. Rio de Janeiro, 2002.



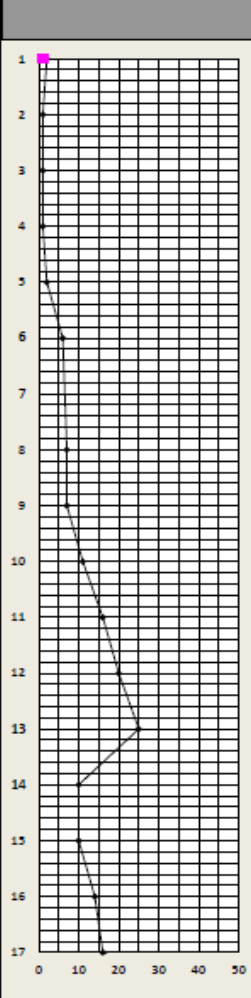
NEVILLE, A.M. **Properties of concrete**. 3<sup>a</sup> ed. London: Pitman, 1981. 780p.

## 9. ANEXO





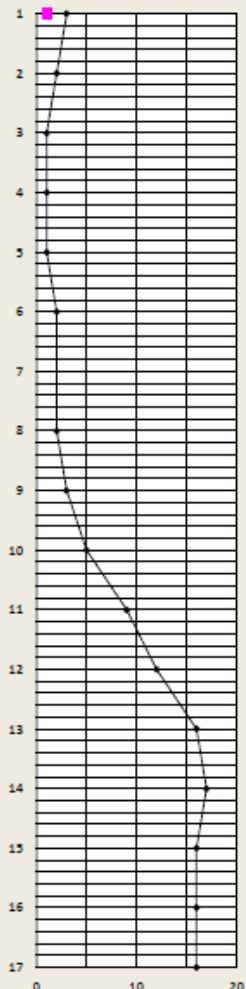
## **ANEXO I – SONDAGEM DO TERRENO**



## SONDAGEM SPT 01

		LAUDO DE SONDAGEM - SPT				
<b>Ciente:</b> EMBAIXADA DA NORUEGA <b>Local:</b> Quadra 807, Setor de Embaixada Sul - Brasilia/DF <b>Obra:</b> PROJETO DE FUNDAÇÃO <b>AMOSTRADOR:</b> SPT 2 <sup>o</sup> <b>PESO DO PILÃO:</b> 65Kg		<b>N:</b> 07/16 <b>16.02.2016</b>		<b>Sondador:</b> Francisco <b>Revestimento:</b> 2 1/2" <b>Altura de quedas:</b> 75cm <b>Comprimento revestimento:</b> 1,00 m		
<b>FURO</b>	<b>SP 01</b>	<b>(N)</b> PENETRAÇÃO - cm <b>(NA)</b> NÍVEL D'ÁGUA <b>(A)</b> NÚMERO DA AMOSTRA <b>(PG)</b> PERFIL GRAFICO	 <b>Jocinez Nogueira Lima.</b> <b>Eng. Civil - CREA 9712/D - DF.</b>			
		<b>N/30</b>	<b>A</b>	<b>Prof (m)</b>	<b>N.A.(m)</b>	<b>CLASSIFICAÇÃO DO SOLO</b>
		2 /30	1	1,00 1,45	<b>SECO</b>	Argila, Arenosa, Marrom, MUITO MOLE.
		1 /23	2	2,00 2,53		Argila, Arenosa, Amarela, MUITO MOLE.
		1 /19	3	3,00 3,51		Argila, Arenosa, Amarela, MUITO MOLE.
		1 /45	4	4,00 4,45		Argila, Arenosa, Vermelha, MUITO MOLE.
		2 /30	5	5,00 5,45		Argila, Arenosa, Vermelha, MUITO MOLE.
		6 /30	6	6,00 6,45		Argila, Arenosa, Com Cascalho, Vermelha, MÉDIA.
		7 /30	8	7,00 7,45		Argila, Arenosa, Com Cascalho, Vermelha, MÉDIA.
		7 /30	9	8,00 8,45		Argila, Siltosa, Arenosa, Com Cascalho, Variado, MÉDIA.
		11 /30	10	9,00 9,45		Argila, Siltosa, Arenosa, Com Cascalho, Variado, R I J A.
		16 /30	11	10,00 10,45		Argila, Siltosa, Arenosa, Com Cascalho, Variado, R I J A.
		20 /30	12	11,00 11,45		Argila, Siltosa, Arenosa, Com Cascalho, Variado, DURA.
		25 /30	13	12,00 12,45		Argila, Siltosa, Arenosa, Com Cascalho, Variado, DURA.
		10 /30	14	13,00 13,45		Argila, Siltosa, Arenosa, Com Cascalho, Variado, MÉDIA.
		10 /30	15	14,00 14,45		Argila, Siltosa, Arenosa, Com Cascalho, Variado, MÉDIA.
		14 /30	16	15,00 15,45		Argila, Siltosa, Arenosa, Com Cascalho, Variado, R I J A.
		16 /30	17	16,00 16,45		Argila, Siltosa, Arenosa, Com Cascalho, Variado, R I J A.
		44 /30	18	17,00 17,45		Argila, Siltosa, Arenosa, Com Cascalho, Variado, DURA.
Continua...						



## SONDAGEM SPT 02

		LAUDO DE SONDAGEM - SPT					
<small>engenharia, arquitetura &amp; controle tecnológico</small>							
<b>Cliente:</b>	EMBAIXADA DA NORUEGA	N: 08/16					
<b>Local:</b>	Quadra 807, Setor de Embaixada Sul - Brasília/DF	16.02.2016					
<b>Obra:</b>	PROJETO DE FUNDAÇÃO	<b>Sondador:</b>	Francisco				
<b>AMOSTRADOR:</b>	SPT 2"	<b>Revestimento:</b>	2 1/2"				
<b>PESO DO PILÃO:</b>	65Kg	<b>Altura de queda:</b>	.75cm				
		<b>Comprimento revestimento:</b>	1,00 m				
<b>FURO</b>	<b>SP 02</b>	(N) PENETRAÇÃO - cm (NA) NÍVEL D'ÁGUA (A) NÚMERO DA AMOSTRA (PG) PERFIL GRAFICO	 Jocinez Nogueira Lima Eng. Civil - CREA 9712/D - DF.				
		<b>N/30</b>	<b>A</b>	<b>Prof (m)</b>	<b>N.A.(m)</b>	<b>CLASSIFICAÇÃO DO SOLO</b>	
		3 /30	- 1	1,00	-	SECO	-Argila, Arenosa, Marrom, MOLE.
				1,45			
		2 /30	- 2	2,00	-		-Argila, Arenosa, Vermelha, MUITO MOLE.
				2,53			
		1 /23	- 3	3,00	-		-Argila, Arenosa, Vermelha, MUITO MOLE.
				3,50			
		1 /21	- 4	4,00	-		-Argila, Arenosa, Vermelha, MUITO MOLE.
				4,47			
		1 /20	- 5	5,00	-		-Argila, Arenosa, Vermelha, MUITO MOLE.
				5,45			
		2 /30	- 6	6,00	-		-Argila, Arenosa, Vermelha, MUITO MOLE.
				6,45			
		2 /30	- 8	7,00	-		-Argila, Siltosa, Arenosa, Com Cascalho, Variiegada, MUITO MOLE.
				7,45			
		3 /30	- 9	8,00	-		-Argila, Siltosa, Arenosa, Com Cascalho, Variiegada, MOLE.
				8,45			
		5 /30	- 10	9,00	-		-Argila, Siltosa, Arenosa, Com Cascalho, Variiegada, MOLE.
		9,45					
9 /30	- 11	10,00	-		-Argila, Siltosa, Arenosa, Com Cascalho, Variiegada, MÉDIA.		
		10,45					
12 /30	- 12	11,00	-		-Argila, Siltosa, Arenosa, Com Cascalho, Variiegada, R I J A.		
		11,45					
16 /30	- 13	12,00	-		-Argila, Siltosa, Arenosa, Com Cascalho, Variiegada, R I J A.		
		12,45					
17 /30	- 14	13,00	-		-Argila, Siltosa, Arenosa, Com Cascalho, Variiegada, R I J A.		
		13,45					
16 /30	- 15	14,00	-		-Argila, Siltosa, Arenosa, Com Cascalho, Variiegada, R I J A.		
		14,45					
16 /30	- 16	15,00	-		-Argila, Siltosa, Arenosa, Com Cascalho, Variiegada, R I J A.		
		15,45					
16 /30	- 17	16,00	-		-Argila, Siltosa, Arenosa, Com Cascalho, Variiegada, R I J A.		
		16,45					
17 /30	- 18	17,00	-		-Argila, Siltosa, Arenosa, Com Cascalho, Variiegada, R I J A.		
		17,45					
Continua...							

		LAUDO DE SONDAGEM - SPT				
<b>Cliente:</b> EMBAIXADA DA NORUEGA		<b>N:</b> 08.1/16		<b>Local:</b> Quadra 807, Setor de Embaixada Sul - Brasilia/DF		
<b>Obra:</b> PROJETO DE FUNDAÇÃO		<b>Sondador:</b> Francisco		<b>Revestimento:</b> 2 1/2"		
<b>AMOSTRADOR:</b> SPT 2 <sup>m</sup>		<b>Altura de queda:</b> 75cm		<b>Comprimento revestimento:</b> 1,00 m		
<b>PESO DO PILÃO:</b> 65Kg						
FURO	<b>SP 02</b> Continuação	(N) PENETRAÇÃO - cm (NA) NÍVEL D'ÁGUA (A) NÚMERO DA AMOSTRA (PG) PERFIL GRÁFICO			 <b>Jocinez Nogueira Lima.</b> <b>Eng. Civil - CREA 9712/D - DF.</b>	
		N/30	A	Prof (m)		N.A.(m)
18		18 /30	18	18,00 18,45	SECO	Argila, Silty, Arenosa, Com Cascalho, Variada, R I J A.
19		37 /30	19	19,00 19,45		Argila, Silty, Arenosa, Com Cascalho, Variada, DURA.
20		35 /30	20	20,00 20,45		Argila, Silty, Arenosa, Com Cascalho, Variada, DURA.
21		45 /25	21	21,00 21,40		Argila, Silty, Arenosa, Com Cascalho, Variada, DURA.
22						Obs.1: Limite da sondagem, 45 golpes para penetrar 25 cm.
23						Obs.2: No 19,64 metros, furo esgotado, fechou.
24						
25						
26						
27						
28						
29						
30						
31						
32						
33						
34						

